

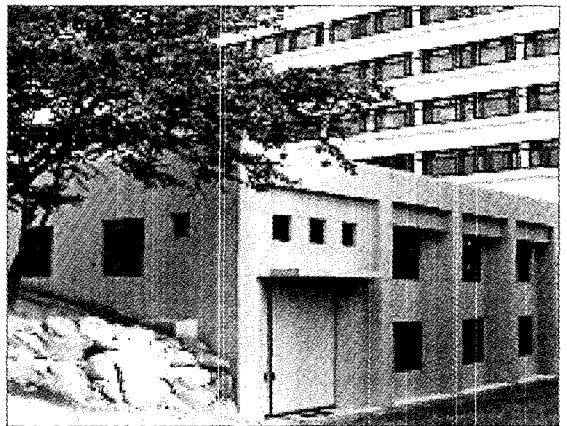
Roll to Roll Technology for Display Manufacturing

디스플레이의 대량 생산에 필요한 연속공정 생산시스템 설계 및 제작을 위해서는 전자, 기계, 소재, 컴퓨터, 통신 등의 융합 기술이 요구된다. 이 글에서는 주로 그라비아 인쇄기법을 이용한 주요 연속 생산 기술 연구 분야에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

세계 디스플레이 시장은 이미 반도체 시장보다 큰 것으로 보고되고 있다. 그리고 앞으로 이러한 세계 디스플레이 시장을 일정부분 한국이 주도할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 그러나 세계시장 주도를 위해 선결해야 할 핵심 문제로, 디스플레이의 유연성, 반응속도의 향상, 단가의 인하 등 적지 않은 복병들을 열거할 수 있다. 국내외적으로 디스플레이 소재, 공정에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있으나, 디스플레이 저가 생산을 위한 연속생산장비(R2R MS : Roll to Roll Manufacturing System)에 대한 연구는 다소 미흡한 실정이다.

R2R MS는 오랫동안 철판, 플라스틱 필름, 종이, 천, 유리, 인쇄제품 등의 연속생산에 사용되어 왔고, 웹(Web) 소재의 장력제어, 축 방향 위치제어, 풀림, 감김 관련 제어, 레지스터제어, 두께 제어, 건조, 시스템설계 및 통합, 분산 실시간 제어 등 관련 기술도 꾸준히 발전되어왔다. 최근 OLED(Organic Light-Emitting Diode)의 생산기술이 양산화 단계

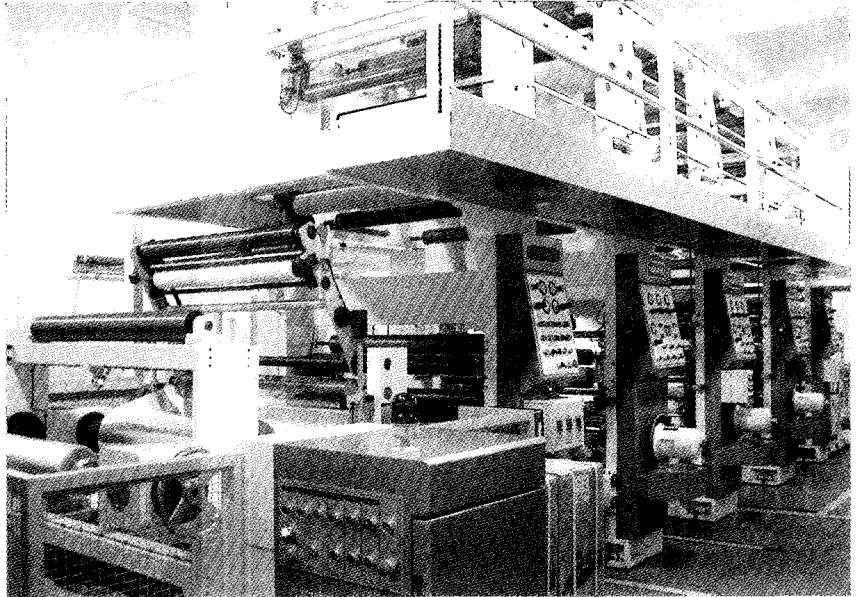
에 접어들고 유연성 소재를 사용할 수 있는 RFID, e-Paper, PLED(Polymeric LED) 등에 대한 관심이 급속히 증대하면서 이들 기술 및 소재를 기반으로 유



유연디스플레이연속공정연구센터(FDRC)

연 디스플레이 (FPD : Flexible Panel Display)의 실질적인 양산체제 구현 가능성 역시 서서히 가시화되고 있다. 이러한 유연디스플레이 등 유연성 매체기반의 제품생산에 결정적인 가격경쟁력 확보를 위해서 중국적으로는 이러한 제품들이 지금까지의 소규모 단계적 생산기술을 극복하고 연속 생산 기술 (R2R Technology: Roll to Roll Technology)에 의해서 안정적으로 균일한 품질의 제품을 생산할 수 있는

가의 여부에 관심의 초점이 집중되기 시작하였다. 그러나 R2R MS를 이용하여 디스플레이를 생산하기 위해서는 풀어야 할 문제도 적지 않다. 우선 기존의 R2R 기술을 디스플레이 제작에 사용 가능할 정도로 고기능 인쇄동판 및 잉크가 개발되어야 하고, 레지스터, 장력 등의 제어 정밀도가 나노(nano) 혹은 마이크로 레벨 정도로 균일하게 재현될 수 있도록 획기적으로 개선되어야 한다. R2R 기반 유연기판상 성형물들이 전자적 응용에 사용되기 위해서는 수백 나노 수준의 외형적 재현성 및 균일도뿐 아니라 형성된 구조 내부의 결함 생성여부 역시 극복해야 하는 주요한 품질 결정요소라 할 수 있다. 또한 지금까지 반도체기반 진공공정 등에 대한 소재의 최적화 관점의



연속 생산 그라비아 인쇄시스템(FDRC)

접근 역시 R2R 공정에 적합한 소재, 공정(inkjet, gravure 등) 연구 및 개발에 대한 종합적인 접근으로 전환되는 것이 필요하다.

건국대학교 유연디스플레이연속 공정 연구 센터 (FDRC : Flexible Display Roll to Roll Research Center)에서는 R2R display 생산장비 개발을 위한 실시간 분산 제어, 레지스터제어 (register control), 시스템 설계, 공정설계, 소재의 공정에 따른 전자적 기계적 특성분석 및 공정별 적정 소재의 개발, 그라비아 인쇄(gravure printing), 잉크젯 인쇄(ink jet printing) 등의 복합적 연구에 진력하고 있다. 다음 장에서는 정밀기계공학적인 관점에서 주로 그라비아 인쇄기법을 이용한 주요 R2R기술 연구

분야에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

그라비아 인쇄 R2R 시스템

지금까지 디스플레이, RFID, e-Paper 등과 같은 printed electronics의 안정적인 대량생산에 가장 적합한 방법은 그라비아 인쇄법으로 인식되고 있다. 그라비아 인쇄란 음각판 인쇄 방식으로(그림 1), 잉크는 음각으로 새겨진 셀 안으로 공급되고 여분의 잉크는 doctor blade로 긁어낸 후에, nip force를 이용하여 셀 내부의 잉크를 소재에 전달하는 방식이다. 이 방식은 점도가 낮은 잉크를 이용하여 균일하고 안정적으로 고속(10mpm 이상)에서 인쇄할 수 있다는 장점이

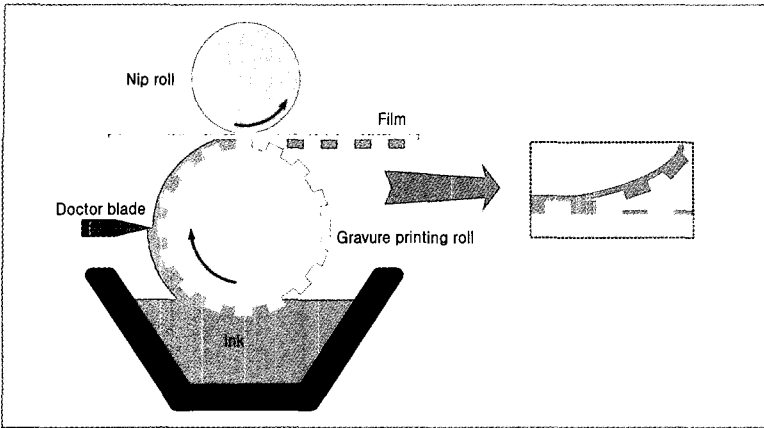


그림 1 그라비어 인쇄

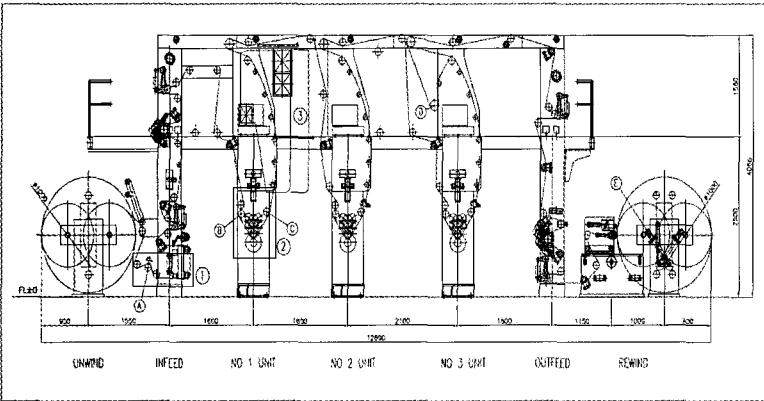


그림 2 그라비어 인쇄기의 구성도

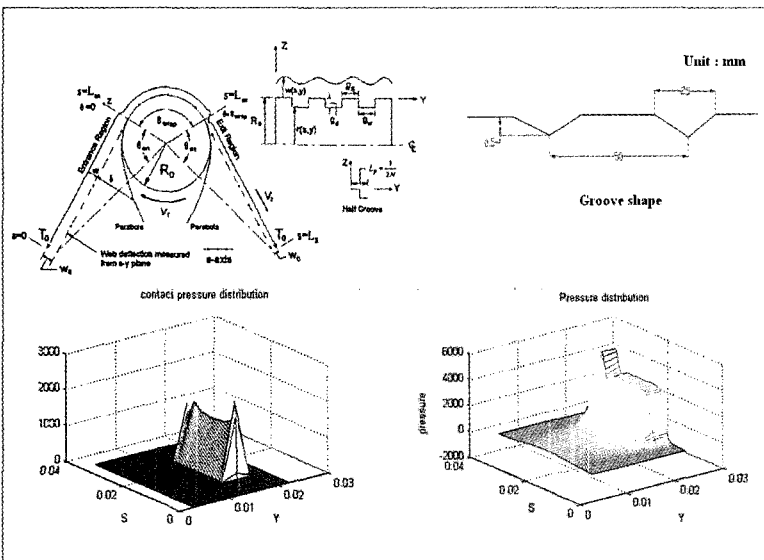


그림 3 롤 그루브 형상설계

있다. 일반적으로 고속 대량 생산을 위한 그라비어 인쇄방식의 R2R 시스템은(그림 2) 크게 다섯 개의 서브시스템(sub-system)으로 분류할 수 있으며, 각 서브시스템에서 이뤄지는 주요 공정은 다음과 같다.

- 풀림시스템(unwinding subsystem : turret, tail length control)
- 인피딩시스템(infeeding subsystem : tension control, dancer system)
- 인쇄시스템(printing subsystem : tension, lateral and register control, drying, printing)
- 아웃피딩시스템(outfeeding subsystem : Tension control, dancer system, taper tension control)
- 감김시스템(rewinding subsystem : turret, splicing, air entrainment, roll hardness control)

이와 같은 서브 시스템은 연속적인 인쇄공정을 위하여 서로 유기적으로 해석되고 통합되어야 한다. R2R 그라비어 인쇄 시스템 설계와 제작을 위해서 연구되어야 할 분야를 기술하면 아래와 같다.

- 라인설계(roll design, span length, dancer)
- 웹 소재 이송(tension control, lateral control, register control)

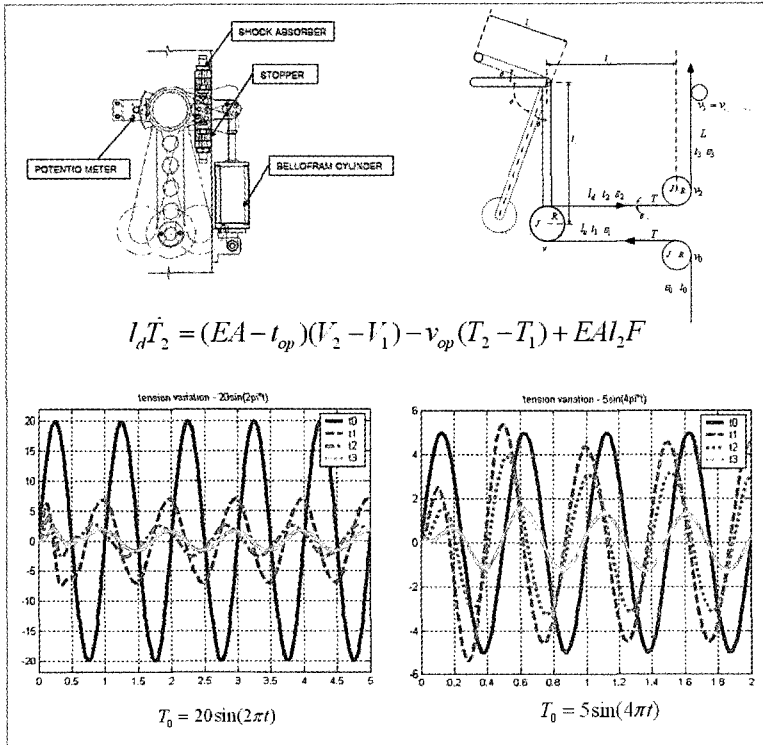


그림 4 댄서 변수 설계

- 감시진단(tension observer, network based monitoring system)
- 나노소재
- 공정(printing, coating, heat and fluid mechanics)
- 시스템 통합

시스템 설계 및 통합

R2R 시스템을 구성하는 주요 부품 설계 및 시스템 통합에 대한 문제로서, 소재, 제품 및 공정 조건 등에 따라 각 서브시스템을 해석하고 설계한 뒤에 통합한다. 소재, 잉크, 생산속도 등에 따른 건조기, 인쇄동판, 스펠 길이, 롤

의 형상 및 크기, 센서 및 제어기의 설계 혹은 선택 등은 매우 민감한 문제이다. 예를 들면, 고속 프린팅 시스템의 경우에, 롤과 소재 상호간 미끄럼 발생에 의한 제품불량을 최소화하기 위하여 그림 3과 같이 공기 층 두께에 대한 해석을 수행한다. 흡입되는 공기 배출을 위한 그루브(groove) 형상 최적화를 통하여 롤과 소재간의 미끄럼 발생을 최소화할 수 있다.

풀림 롤에서 발생할 수 있는 장력외란을 감쇄시킴으로써 주요 단위공정으로의 장력외란 전달 및 발생을 최소화시키며, 일종의 버퍼역할을 감당할 수 있는 댄서

의 설계과정에서도 시스템의 수학적 모델링을 통하여 주어진 공정조건(공정속도, 공정장력 등)에 대한 최적의 하드웨어를 구성할 수 있을 뿐 아니라, 댄서 전후의 스펠 길이 조절을 통하여 입축의 장력 외란 제거 효과를 극대화할 수 있는 설계조건 및 동적 특성을 설정할 수 있다.(그림 4)

소재 이송, 진단 및 감시

R2R 인쇄공정에서 소재의 상태는 진행방향(tension and register control)과 축 방향(lateral control)에 대한 변형이 대표적이다. 이러한 제어는 비단 인쇄영역(printing zone)에서만 이뤄지는 것이 아니라 시스템 전체에 걸쳐서 상호 동기화될 때 원하는 제품의 품질을 유지할 수 있다. R2R 방식을 이용한 인쇄방법에서 가장 중요한 것은 이송중인 소재상의 원하는 위치에 특정 패턴을 인쇄하는 것이다. 소재의 변형률을 고려한 패턴제어를 레지스터 제어라 한다. 레지스터 에러(Y)는 그림 5에 나타낸 바와 같이, 이전 롤에서 인쇄된 마크와 현 롤에서 인쇄된 마크 사이에 발생하는 위치 에러이다. 이를 수학적으로 표현하면 그림 5에 나타낸 수식과 같다. 장력전달현상과 같이, 현 스펠에서 발생된 레지스터 에러는 다음 스펠으

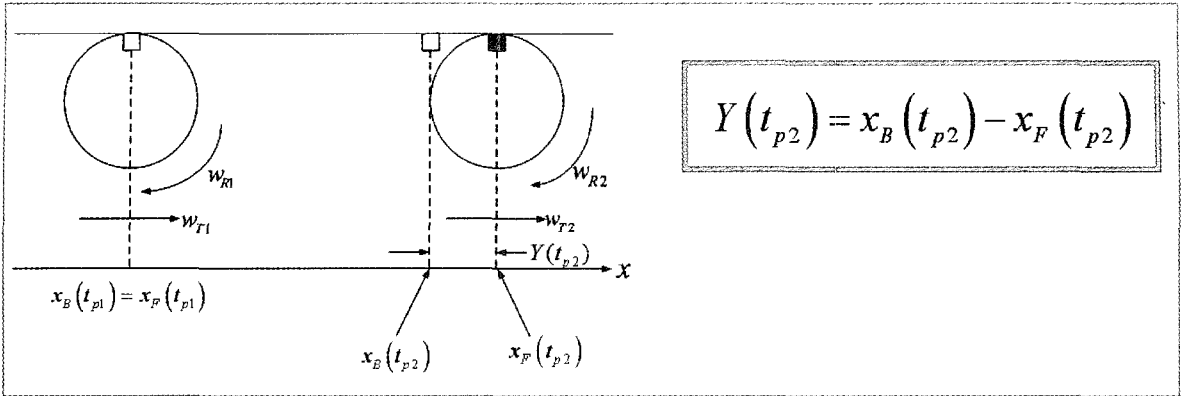


그림 5 레지스터 오차

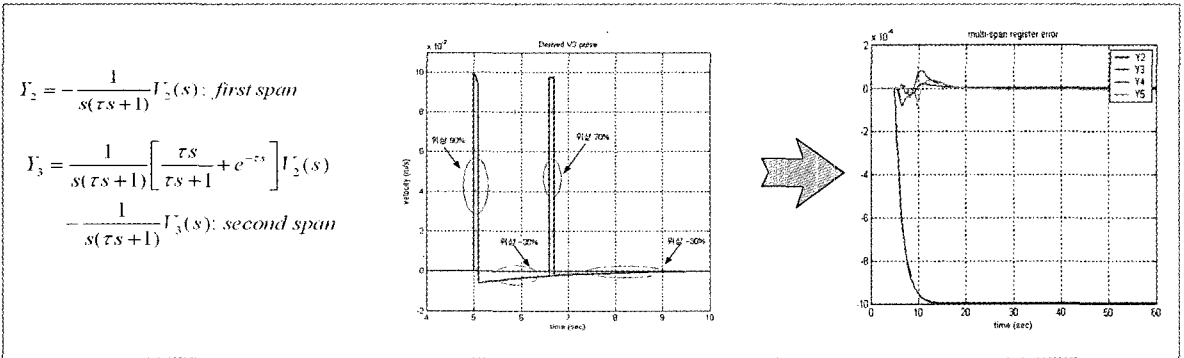


그림 6 피드포워드 레지스터 제어

로 전달된다. 이러한 레지스터 에러의 특징으로 인하여 한 스펠에서 발생한 레지스터 에러에 대한 보상량을 순차적으로 나누어서 제어함으로써 레지스터 에러의 전달 현상 및 현 스펠에서의 레지스터 에러 보상으로 인해 다음 스펠에서 발생할 수 있는 추가적인 레지스터 에러를 예방할 수 있다. 그림 6에서와 같이, 피드포워드 제어를 통하여 추가적으로 발생할 수 있는 레지스터 에러들을 최소화할 수 있음을 알 수 있다.

인쇄영역에서는 종 방향에 대한

장력 및 레지스터 제어뿐만 아니라, 소재 축 방향 위치 제어, 장력 및 장력의 연동제어, 롤 형상 및 시스템에 대한 감시 및 진단 시스템에 대한 연구가 필요하다.

맺음말

디스플레이 저가 생산을 위한 연속생산장비는 국외에서 이미 부분적으로 실용화 단계에 있고, 개발에 대한 연구는 분명히 큰 보상을 안겨줄 것이다. 그러나 디스플레이를 생산하기 위한 R2R

MS 설계 및 제작을 위해서는 전자, 기계, 소재 컴퓨터, 통신 등의 융합기술이 요구된다. 그라비아, 잉크젯 등의 인쇄 기술을 이용한 R2R MS 시스템의 성공적인 연구를 위해서는, 소재, 잉크, 인쇄시스템, 동판, 공정, 시스템 통합 등에 대한 연구가 가능하면 한 자리에서 유기적으로 수행되어야 한다. FDRC는 이러한 역할을 감당하기 위해서 노력하고 있다.